

Науковий вісник НЛТУ України  
Scientific Bulletin of UNFU<http://nv.nltu.edu.ua><https://doi.org/10.15421/40280222>

Article received 21.03.2018 p.

Article accepted 29.03.2018 p.

УДК 621.643

ISSN 1994-7836 (print)

ISSN 2519-2477 (online)



@ Correspondence author

L. Ya. Poberezhny

lubomyrpoberezhny@gmail.com

**С. С. Трегубенко<sup>1</sup>, Р. В. Кубаль<sup>2</sup>, Л. Я. Побережний<sup>3</sup>, В. Б. Запукхляк<sup>3</sup>**<sup>1</sup> Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ, Україна<sup>2</sup> Тил Збройних Сил України, м. Київ, Україна<sup>3</sup> Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

## РИЗИКИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЕНЕРГОНОСІВ У ЗОНАХ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Обсяг економічних збитків від екологічних катастроф, спричинених техногенними аваріями під час бойових дій, часто досить важко підрахувати. Здебільшого дешевше і технологічно простіше відновити населений пункт або підприємство в новому місті. Відповідно до норм чинного законодавства технологічний тероризм – це злочини, які вчиняють з терористичною метою із застосуванням ядерної, хімічної, бактеріологічної (біологічної) та іншої зброї масового ураження або компонентів, інших шкідливих речовин для здоров'я людей. Залежно від характеру походження подій, що можуть зумовити виникнення надзвичайних ситуацій на території України, визначають такі види надзвичайних ситуацій: а) техногенного характеру; б) природного характеру; в) соціального характеру; г) воєнного характеру. Розроблено підходи, які покликані спростити прогнозування експлуатаційних ризиків та забезпечити коректну оцінку залишкового ресурсу нафтогазопроводів, які експлуатують в умовах бойових дій. За результатами проведених випробовувань, ґрунтуючись на кінетичних кривих деформації та користуючись розробленою методикою, визначено області низькочастотної корозійної втоми для основного металу та зварного з'єднання трубопроводів. Запропонований спосіб потребує подальшого вдосконалення у плані комплексного прогнозування живучості, залишкового ресурсу та експлуатаційних ризиків.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація; основний метал; зварне з'єднання; корозивне середовище.

**Вступ.** Обсяг економічних збитків від екологічних катастроф, спричинених техногенними аваріями під час бойових дій, часто досить важко підрахувати. Здебільшого дешевше і технологічно простіше відновити населений пункт або підприємство в новому місті, ніж рекультивувати територію, що постраждала від техногенної аварії, спричиненої бойовими діями. Такі природно-господарські об'єкти, як шахти, кар'єри, греблі, канали, здебільшого взагалі не підлягають відновленню. За цими характеристиками можемо порівнювати екологічні наслідки бойових дій на Донбасі з наслідками застосування тактичної ядерної зброї або Чорнобильської катастрофи. Одним із елементів гібридної війни є технологічний тероризм. Ф. Хоффман визначає гібридну війну у вигляді будь-яких дій ворога, який миттєво і злагоджено використовує складну комбінацію – дозволу зброю, партизанську війну, тероризм і злочинну поведінку на полі бою, щоб домогтися політичних цілей (Hybrid, 2009). Відповідно до норм чинного законодавства технологічний тероризм – це злочини, які вчиняють з терористичною метою із застосуванням ядерної, хімічної, бактеріологічної (біологічної) та іншої зброї масового ураження або компонентів, інших шкідливих речовин для здоров'я людей, речовин, засобів

електромагнітної дії, комп'ютерних систем і комунікаційних мереж, включаючи захоплення, виведення з ладу і руйнування потенційно небезпечних об'єктів, які прямо чи опосередковано створили або загрожують виникненням надзвичайної ситуації внаслідок цих дій та становлять небезпеку для персоналу, населення та довкілля; створюють умови для аварій і катастроф техногенного характеру.

Залежно від характеру походження подій, що можуть зумовити виникнення надзвичайних ситуацій на території України, визначають такі види надзвичайних ситуацій: а) техногенного характеру; б) природного характеру; в) соціального характеру; г) воєнного характеру.

Надзвичайна ситуація техногенного характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті внаслідок транспортної аварії (катастрофи), пожежі, вибуху, аварії з викиданням (загрозою викидання) небезпечних хімічних, радіоактивних і біологічно небезпечних речовин, раптового руйнування споруд; аварії в електроенергетичних системах, системах життєзабезпечення, системах телекомунікацій, на очисних спорудах, у системах нафтогазового промислового комплексу, гідродинамічних аварій тощо.

### Інформація про авторів:

**Трегубенко Станіслав Семенович**, д-р військових наук, професор, провідний науковий співробітник. Email: feull@ukr.net

**Кубаль Руслан Володимирович**, начальник Центрального управління забезпечення паливом та мастильними матеріалами.

Email: kubalr@bigmir.net

**Побережний Любомир Ярославович**, д-р техн. наук, професор кафедри хімії. Email: lubomyrpoberezhny@gmail.com

**Запукхляк Василь Богданович**, канд. техн. наук, доцент кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтоховищ.

Email: vasyazb83@ukr.net

**Цитування за ДСТУ:** Трегубенко С. С., Кубаль Р. В., Побережний Л. Я., Запукхляк В. Б. Ризики транспортування енергоносіїв у зонах військових дій. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 2. С. 120–123.

**Citation APA:** Tregubenko, S. S., Kubal, R. V., Poberezhny, L. Ya., & Zapukhlyak, V. B. (2018). Risks of Transportation of Energy Carriers in the Zone of Military Action. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(2), 120–123. <https://doi.org/10.15421/40280222>

Надзвичайна ситуація природного характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, пов'язане з небезпечним геофізичним, геологічним, метеорологічним або гідрологічним явищем, деградацією ґрунтів чи надр, пожежею у природних екологічних системах, зміною стану повітряного басейну, інфекційною захворюваністю та отруєнням людей, інфекційним захворюванням свійських тварин, масовою загибеллю диких тварин, ураженням сільськогосподарських рослин хворобами та шкідниками тощо.

Надзвичайна ситуація соціального характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене протиправними діями терористичного й антиконституційного спрямування, або пов'язане із зникненням (викраденням) зброї та небезпечних речовин, нещасними випадками з людьми тощо.

Надзвичайна ситуація воєнного характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене застосуванням звичайної зброї або зброї масового ураження, під час якого виникають вторинні чинники ураження населення, що її визначають в окремих нормативних документах (Shahriar, Sadiq & Tesfamariam, 2012; Yavorskyu, Karpash & Rybitskyu, 2011).

Сприйняття ризику терористичних загроз на потенційно небезпечних об'єктах надзвичайних ситуацій техногенного характеру є принципово відмінним (Yavorskyu, Karpash & Rybitskyu, 2011). Так, якщо на ядерних об'єктах система безпеки щодо загрози дій терористичного характеру має десятки років досвіду, то трубопроводи традиційно не розглядали як такі об'єкти в Україні. Тепер, в умовах гібридних воєнних дій, саме трансконтинентальні газопроводи є одним з техногенно небезпечних об'єктів найвищого рівня ризику щодо терористичної атаки.

Густа мережа нафто- та газопроводів, протяжність магістральних газопроводів в Україні 35,2 тис. км, нафтопроводів – 3,9 тис. км, чотири великих нафтопереробні комбінати (Дрогобицький, Кременчуцький, Лисичанський, Одеський) є потенційними об'єктами терористичних атак, що можуть спричинити істотну загрозу техногенної катастрофи.

**Мета дослідження.** Для оцінювання потенційних ризиків трубопровідного транспортування енергоносіїв необхідно дослідити поведінку матеріалу труб в умовах різких ациклічних перевантажень. Одним із найважливіших показників прогнозування роботи трубопроводу в режимі часткової функціональності буде живучість.

**Результати дослідження та їх обговорення.** За результатами проведених випробовувань, ґрунтуючись на кінетичних кривих деформації та користуючись розробленою методикою (Kryzhanivskyu & Poberezhnyu, 2004), визначено області низькочастотної корозійної втоми для основного металу та зварного з'єднання трубопроводів.

Застосувавши деформаційно-кінетичне трактування процесу руйнування (Lugantsev & Chernenko, 2015) та представивши, одержані експериментальні дані в напівлогарифмічних координатах отримано залежності, які доволі добре описуються математично, а отже, їх можна використовувати для наступного прогнозування живучості нафтогазопроводів у позаштатних ситуаціях

(рис. 1, 2). Так, для основного металу (сталь 20) похибка методу не перевищує 4 %, а для зварного з'єднання – 1 %. Причому, на відміну від випробовувань на повітрі, одержані результати дають змогу прогнозувати поведінку основного металу трубопроводу на всьому розмаху амплітуд.

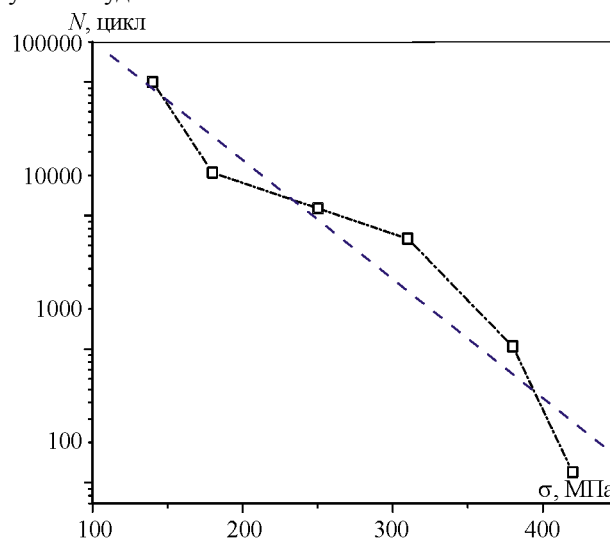


Рис. 1. Живучість основного металу в хлоридному корозивному середовищі

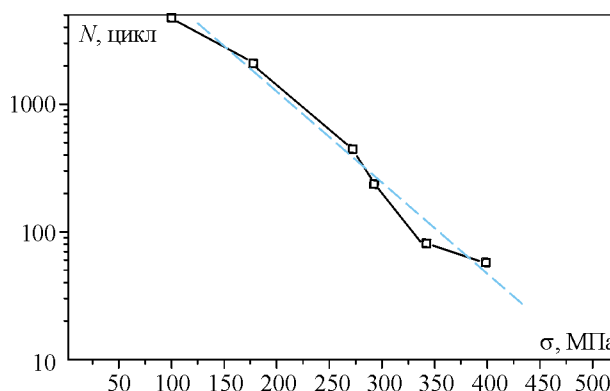


Рис. 2. Живучість зварного з'єднання у хлоридному корозивному середовищі

Складно прогнозована ділянка в області більше 380 МПа зникає. Це дасть змогу ще на стадії проектування зробити коректний розрахунок експлуатаційних ризиків як у зоні екстремальних (аварійних), так і в зоні робочих (експлуатаційних) навантажень шляхом моделювання аварійної ситуації та її наслідків і, ґрунтуючись на розрахованій живучості (стійкості переважно до зовнішніх навантажень та впливів з боку навколишнього середовища під час виникнення і розвитку допустимих пошкоджень), розробити для кожного спрогнозованого випадку комплекс заходів із попередження позаштатної (аварійної) ситуації та зведення експлуатаційних ризиків до прийняттого рівня.

Табл. Тривалість останньої стадії низькочастотної корозійної втоми основного металу та зварного з'єднання

Основний метал		Зварне з'єднання	
$\sigma$ , МПа	живучість, цикли	$\sigma$ , МПа	живучість, цикли
140	100000	100	4950
180	21000	180	2100
250	10200	280	460
310	6724	300	220
380	1050	350	120
420	120	400	65

Проаналізувавши експериментальні дані, можемо зауважити, що живучість зварного з'єднання в корозивному середовищі істотно менша, ніж в основного металу (табл.), і в області експлуатаційних навантажень ця різниця становить від 10 до 30 разів.

Беручи до уваги, що в зоні зварного з'єднання значно більша ймовірність розвитку тріщин внаслідок дефектів зварювання та, в разі пошкодження чи втрати герметичності захисного покриття, утворення гальванічної пари "основний метал – зварне з'єднання", яка відчутно прискорює перебіг корозійних процесів і, що найнебезпечніше, призводить до їх локалізації, можемо зробити висновок про необхідність окремої оцінки ризику для основного металу та зварного з'єднання. Адже проведені раніше дослідження показали, що синергічна дія механічного та корозійного чинників призводить до зростання швидкості корозії в десятки та сотні разів!

У таких умовах зафіксовано локальні корозійно-втомні ураження глибиною 10–15 мм, які утворювалися менш ніж за рік. За наявності таких глибоких пошкоджень надзвичайно важливо оцінити можливість та термін безпечної експлуатації нафтогазопроводу з метою визначення черговості проведення ремонтних робіт та заходів із відновлення нормального його функціонування і здійснення подальшої безпечної експлуатації.

З рис. 2 випливає, що неомогенність зварного з'єднання (яке можна вважати композицією "зварний шов – зона термічного впливу") небезпечно зменшує опір корозійній втомі (Baxter, Maddox & Pargeter, 2007; Hrabovskyy, 2010) саме в області експлуатаційних навантажень, про що свідчить розходження усереднених кривих живучості.

У такому режимі трубопровід потрібно експлуатувати штатно (тобто протягом планового ресурсу роботи), а одержані результати свідчать про те, що зварне з'єднання в такому режимі є гірше, ніж у високоамплітудній області, створюючи додаткові експлуатаційні ризики. Результати досліджень свідчать, що живучість є надзвичайно важливим критерієм, адже довговічність зварного з'єднання та основного металу відрізняються незначно, і саме живучість дала змогу виявити приховані експлуатаційні небезпеки та додаткові, невраховані раніше ризики, які можуть спричинити важкі аварії та, як наслідок, завдати значної шкоди довкіллю. Особливо значною ця шкода може бути саме під час аварії трубопроводів.

Тому потрібно вести постійний пошук таких спеціалізованих експлуатаційно орієнтованих критеріїв та параметрів, які дадуть змогу якісної, а головне вчасної (бажано ще на стадії проектування) оцінки експлуатаційних ризиків, що допоможе вчасно розробити заходи з попередження аварійних ситуацій та зменшення ризиків до прийнятних.

Для спрощення і покращення прогнозування живучості та експлуатаційних ризиків пропонуємо представити криві живучості основного металу та зварного з'єднання в об'єднаному вигляді (рис. 3).

Така інтерпретація дає змогу введення коефіцієнтів, які дадуть змогу врахувати меншу довговічність і більшу схильність до корозійно-втомного руйнування зварного з'єднання та коректніше розраховувати і прогнозувати експлуатаційні ризики. Живучість основного металу описуємо рівнянням (1)

$$\lg N = 46,2 - 0,009\sigma \quad (1)$$

зварного з'єднання

$$\lg N = 4,41 - 0,00655\sigma \quad (2)$$

Взявши за основу залежність для основного металу шляхом нескладних математичних перетворень, отримаємо залежність типу (3)

$$\lg N = 46,2K_1 - 0,009K_2\sigma, \quad (3)$$

де  $K_1$  та  $K_2$  дорівнюють відповідно 0,0955 та 0,73.

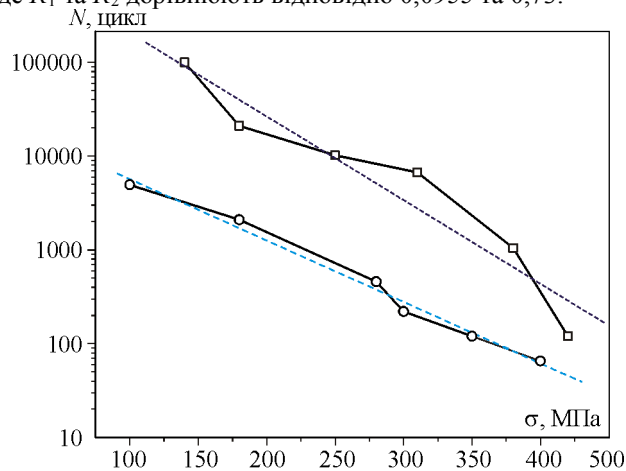


Рис. 3. Прогнозування живучості у хлоридному корозивному середовищі (сталь 20, □ – основний метал, ○ – зварне з'єднання)

Це особливо важливо для стандартизації інженерних розрахунків на стадії проектування під час перевірення на відповідність критеріям безпеки і надійності, а також для проведення усестороннього ризик-аналізу та прогнозу експлуатаційних ризиків у штатних та позаштатних режимах роботи, визначенні ресурсу (залишкового ресурсу) безпечної експлуатації, побудові дерева відмов і розробці для кожного випадку комплексу конкретних заходів із мінімізації експлуатаційних ризиків та попередження виникнення аварійних ситуацій (Poberezhnyy, et al., 2013). Такі коефіцієнти дадуть змогу швидко, без тривалих випробовувань, закласти в проект трубопроводу необхідні характеристики міцності, надійності та довговічності.

**Висновки.** Розроблені підходи покликані спростити прогнозування експлуатаційних ризиків та забезпечити коректну оцінку залишкового ресурсу нафтогазопроводів, які експлуатують в умовах бойових дій. Запропонований спосіб потребує подальшого вдосконалення у плані комплексного прогнозування живучості, залишкового ресурсу та експлуатаційних ризиків. Необхідно створити підходи, які дадуть змогу достатньо коректно описувати агресивну дію корозивного середовища та математично пов'язати живучість і залишковий ресурс на повітрі (за непошкодженого покриття) та в корозивних середовищах шляхом введення відповідних коефіцієнтів.

## Перелік використаних джерел

- Baxter, D. P., Maddox, S. J., & Pargeter, R. J. (2007). Corrosion fatigue behaviour of welded risers and pipelines. In *ASME 2007 26th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, (pp. 117–124). American Society of Mechanical Engineers.
- Hrabovskyy, R. S. (2010). Otsinka resursnykh mozhlyvostey mahistralnykh hazoprovodiv z ekspluatatsiynymy defektamy. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh ta hazovykh rodovyshech*, 4(37), 71–82. [in Ukrainian].
- Hybrid. (2009). Hybrid vs compound war. Retrieved from: <http://armedforcesjournal.com/2009/10/4198658/>.
- Kryzhanivskyy, Ye. I., & Poberezhnyy, L. Ya. (2004). Metodolohiya doslidzhennya deformatsiyi ta ruynuvannya truboprovodnykh



- system. *Mekhanika ruynuvannya materialiv ta mitsnosti konstruktiv: Materialy III mizhnarodnoyi konferentsiyi*, (pp. 419–424). [in Ukrainian].
- Lugantsev, L. D., & Chernenko, M. O. (2015). Computer Monitoring of the Remaining Life of Tubular Elements of Structures. *Chemical and Petroleum Engineering*, 51(7–8), 548–553.
- Poberezhnyy, L. Ya., Stanetsky, A. I., Polutrenko, M. S., Marushchak, P. O. (2013). Metodyka vyznachennya oblastey pidvyshchenoyi koroziynoyi ta biokoroziynoyi aktyvnosti yak skladovoyi kompleksnoho monitorynhu naftohazoprovodiv. *Visnyk Skhidnoukrayinskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dabyla*, 13, 161–166. [in Ukrainian].

- Shahriar, A., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2012). Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(3), 505–523. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2011.12.007>
- Yavorsky, A. V., Karpash, O. M., & Rybitsky, I. V. (2011). Pidkody do vyyavleniya vytkiv hazu z liniynoyi chastyny ma-histral'nykh hazoprovodiv u zonakh heodynamichnoho ryzyku. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh ta hazovykh rodovysch*, 1, 113–119. [in Ukrainian].

**С. С. Трегубенко<sup>1</sup>, Р. В. Кубаль<sup>2</sup>, Л. Я. Побережный<sup>3</sup>, В. Б. Запукхляк<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, г. Киев, Украина

<sup>2</sup> Тыл Вооруженных Сил Украины, г. Киев, Украина

<sup>3</sup> Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, Украина

## РИСКИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ В ЗОНАХ ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ

Объем экономического ущерба от экологических катастроф, вызванных техногенными авариями во время боевых, часто довольно трудно подсчитать. В большинстве случаев дешевле и технологически проще восстановить населенный пункт или предприятие на новом месте. В соответствии с нормами действующего законодательства технологический терроризм – это преступления, совершаемые с террористической целью с применением ядерного, химического, бактериологического (биологического) и другого оружия массового поражения или компонентов, других вредных веществ для здоровья людей. В зависимости от характера происхождения событий, которые могут обусловить возникновение чрезвычайных ситуаций на территории Украины, определяют такие виды чрезвычайных ситуаций: а) техногенного характера; б) природного характера; в) социального характера; г) военного характера. Разработанные подходы призваны упростить прогнозирование эксплуатационных рисков и обеспечить корректную оценку остаточного ресурса нефтегазопроводов, эксплуатируемых в условиях боевых действий. По результатам проведенных испытаний, основываясь на кинетических кривых деформации и пользуясь разработанной методикой, определены области низкочастотной коррозионной усталости для основного металла и сварного соединения трубопроводов. Разработанные подходы призваны упростить прогнозирование эксплуатационных рисков и обеспечить корректную оценку остаточного ресурса нефтегазопроводов, эксплуатируемых в условиях боевых действий. Предложенный способ требует дальнейшего усовершенствования в плане комплексного прогнозирования живучести, остаточного ресурса и эксплуатационных рисков.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация; основной металл; сварные соединения; коррозионная среда.

**S. S. Tregubenko<sup>1</sup>, R. V. Kuba<sup>2</sup>, L. Ya. Poberezhny<sup>3</sup>, V. B. Zapukhlyak<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Rear of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup> Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

## RISKS OF TRANSPORTATION OF ENERGY CARRIERS IN THE ZONE OF MILITARY ACTION

In accordance with the norms of the current legislation, technological terrorism is considered to be crimes committed with a terrorist purpose, using nuclear, chemical, bacteriological (biological) and other weapons of mass destruction or components, other substances harmful to human health, means of electromagnetic action, computer systems and communication networks, including seizure, decommissioning and the destruction of potentially hazardous objects that have created or threatened directly or indirectly by the occurrence of an emergency due to these actions; pose a danger to the personnel, the population and the environment; create conditions for accidents and catastrophes of anthropogenic nature. To assess the potential risks of pipeline transportation of energy carriers, it is necessary to investigate the behavior of pipe material in the conditions of sharp acyclic overloads. One of the most important indicators for predicting the operation of the pipeline in the mode of partial functionality is survivability. Applying the deformation-kinetic interpretation of the destruction process and presenting the experimental data obtained in semi-logarithmic coordinates, dependencies are described which are quite well described mathematically, and therefore can be used for the next forecasting of the survivability of oil and gas pipelines in extraordinary situations. So, for the base metal (steel 20) the error of the method does not exceed 4 %, and for the welded connection – 1 %. Moreover, unlike air trials, the obtained results enable us to predict the behavior of the main metal of the pipeline on the whole scale of the amplitudes. Taking into account that in the zone of welded joints, it is much more probable that cracks develop due to defects in welding and, in the event of damage to or loss of tightness of the protective coating, the formation of a galvanic vapor "basic metal-welded joint", which significantly accelerates the course of corrosion processes, and, which is most dangerous, leads to their localization, we can conclude that there is a need for a separate risk assessment for the base metal and welded joints. After all, previously conducted studies have shown that the synergistic effect of mechanical and corrosive factors leads to an increase in the rate of corrosion in tens and hundreds of times. The developed approaches are intended to simplify the forecasting of operational risks and to ensure a correct assessment of the residual life of oil and gas pipelines operated in the context of combat operations. The proposed method needs further improvement in terms of integrated prediction of viability, residual resource and operational risks. It is necessary to create approaches that will allow to correctly describe the aggressive effect of the corrosive environment and mathematically to link survivability and residual life in the air (under undamaged coverage) and in corrosive environments by introducing appropriate coefficients.

**Keywords:** emergency; base metal; welded joints; corrosive medium.